

С.В. Серебrenніков, канд. техн. наук,
О.І. Сіріков, аспірант

МОДЕЛЮВАННЯ КОМПЛЕКСНОГО ПОВЕРХНЕВОГО СТРУМУ ВИТОКУ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ІЗОЛЯТОРІВ З УРАХУВАННЯМ НЕРІВНОМІРНОСТІ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВЕРХНІ

Удосконалено математичну модель комплексного поверхневого струму витоку опорних ізоляторів КРПЗ шляхом урахування нерівномірності розподілення параметрів. Запропоновано ітераційний метод вирішення диференціальних рівнянь для струму витоку вздовж поверхні ізолятора.

Усовершенствована математическая модель комплексного поверхностного тока утечки опорных изоляторов КРУН путем учета неравномерности распределения параметров. Предложен итерационный метод решения дифференциальных уравнений для тока утечки вдоль поверхности изолятора.

Аналіз аварійних відключень розподільчих мереж напругою 10 кВ показує, що основною причиною є перекриття і пошкодження ізоляції КРПЗ [1], які виникають внаслідок забруднення поверхні ізоляції продуктами вивітрювання з поверхні землі, а також викидами в атмосферу штучного характеру. Тверді пилові забруднення в переважній більшості не становлять небезпеки, оскільки майже не проводять електричний струм. Основною причиною створення провідного шару на поверхні ізоляційних конструкцій є електроліти, які при розчиненні іоноутворюючих речовин сконденсованою вологою. Основним і найбільш розповсюдженим способом боротьби з забрудненням ізоляції є її профілактичні чистки, терміни між якими за вимогами «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів» встановлюються, як правило, не рідше ніж оди раз на рік (для Кіровоградобленерго двічі на рік). Враховуючи, що на процес забруднення впливає велика кількість випадкових факторів таких, як погодні умови, напрям і швидкість вітру, місце і характер джерела забруднення і т.п. необхідно оптимізувати процес чищення ізоляції – тобто, у випадку не інтенсивного забруднення збільшити інтервал між чищеннями, а у протилежному – зменшити. Підвищити ефективність очищення ізоляції можна шляхом переходу від планового методу очищення до методу очищення за реальним станом поверхні ізоляції. Це вимагає створення автоматизованої системи контролю за станом забруднення поверхні ізоляції.

Із аналізу існуючих способів контролю слід відокремити спосіб контролю за струмом витоку, як такий, що дозволяє визначати поточний

рівень забрудненості поверхні на будь-якій стадії та доволі простий у технічній реалізації [1]. Проте вказаний спосіб контролю потребує підвищення точності, оскільки має залежність сигналу від вологості оточуючого ізолятор повітря та характеру забруднення (при нерівномірному шарі забруднення, який вкриває не всю поверхню ізолятора, а сектор, що спостерігається при горизонтальному розташуванні ізолятора) [2]. Нами запропоновано вдосконалити існуючий спосіб контролю шляхом введення датчика вологості і контролювання реактивної складової в поверхневому струмі витоку, яка буде залежати від площі сектора забруднення [3].

Для кількісної оцінки залежності реактивної складової в поверхневому струмі витоку від величини сектора та ступеня забруднення була розроблена математична модель [4] в якій припускалося, що погонна ємність забрудненої поверхні ізолятора до струмопровідної шини та заземленої площини на якій розташований ізолятор розподілена рівномірно вздовж осі ізолятора. Таке припущення дозволило аналітично вирішити диференціальні рівняння та отримати шукану залежність зміни струму та напруги вздовж осі ізолятора. Але, як показали експериментальні дослідження по визначенню реального розподілу погонних параметрів, припущення щодо рівномірності розподілу погонної ємності дає лише якісну картину [5]. Для отримання кількісних результатів диференціальне рівняння при урахуванні залежності зміни погонних параметрів від координати вздовж осі ізолятора запишеться у вигляді:

$$\begin{cases} -\frac{dU}{dx} = \dot{I} r_0(x) \\ -\frac{d\dot{I}}{dx} = Uj\omega(C_1(x) + C_2(x)) - Ej\omega C_1(x) \end{cases} \quad (1)$$

де $r_0(x)$ – функція залежності погонного опору від поточної координати; $C_1(x)$ і $C_2(x)$ – відповідно функція залежності погонної ємності до струмопровідної шини і заземленої площини від поточної координати.

Залежність $r_0=f(x)$ можна знайти за формулою:

$$r_0(x) = \left(\pi D(x) \overline{\gamma_n} \right)^{-1} \quad (2)$$

де $\overline{\gamma_n}$ – усереднена по поверхні ізолятора питома поверхнева провідність, $D(x)$ – діаметр ізолятора, який залежить від поточної координати x .

В цьому випадку вказана залежність зводиться до відшукування функції залежності радіуса або діаметру від координати x . Залежності $C_1=f(x)$ і $C_2=f(x)$ можна знайти за емпіричними формулами [5].

Використання емпіричних залежностей погонних параметрів в (1) серйозно ускладнює аналітичне вирішення системи диференціальних рівнянь. Тому запропоновано наближений метод їх вирішення, суть якого полягає в наступному.

Розглянемо схему заміщення із зосередженими параметрами зображену на рисунку. Поверхня ізолятора розглядається як така, що складається з певної кількості елементарних комірок N . Тобто схема заміщення розглядається не як коло з розподіленими параметрами [4], а як коло з N зосередженими параметрами. В цьому випадку при достатньо великому значенні N отримане розподілення $\dot{I}=f(x)$ і $U=f(x)$ наближається до фактичного.

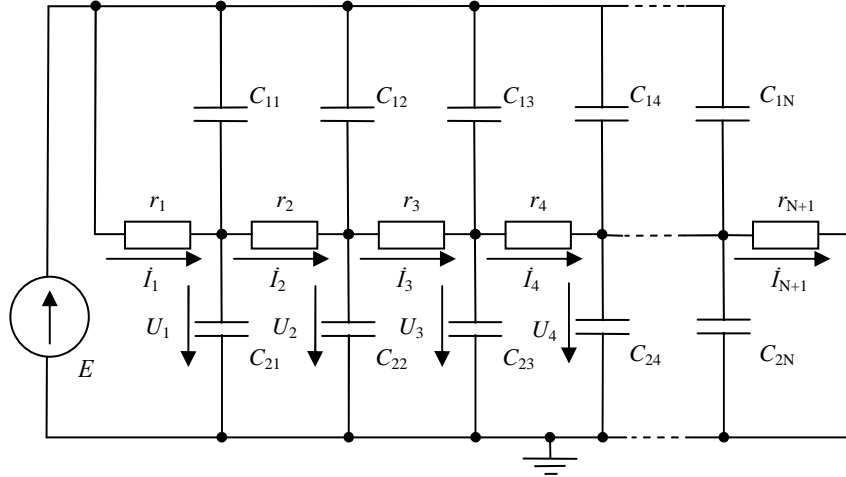


Рисунок. Схема заміщення поверхні ізолятора при зосереджених параметрах.

Припустимо, що комплексний поверхневий струм витоку на початку ізолятора \dot{I}_1 нам відомий. Тоді напруга U_1 може бути знайдена за формулою:

$$U_1 = E - \dot{I}_1 \cdot r_1$$

де r_1 – перший елемент масиву опорів r .

Знаючи напругу U_1 можна обчислити струм \dot{I}_2 :

$$\dot{I}_2 = \dot{I}_1 + (E - U_1)j\omega C_{11} - U_1 j\omega C_{21}$$

де C_{11} і C_{21} – відповідно перший елемент масиву ємностей до струмопровідної шини C_1 та заземленої площини C_2 .

Знайшовши струм \dot{I}_2 можна обчислити напругу U_2 і т.д.:

$$U_2 = U_1 - \dot{I}_2 \cdot r_2; \quad \dot{I}_3 = \dot{I}_2 + (E - U_2)j\omega C_{12} - U_2 j\omega C_{22}$$

$$U_3 = U_2 - \dot{I}_3 \cdot r_3; \quad \dot{I}_4 = \dot{I}_3 + (E - U_3)j\omega C_{13} - U_3 j\omega C_{23}$$

.....

$$U_N = U_{N-1} - \dot{I}_N \cdot r_N; \quad \dot{I}_{N+1} = \dot{I}_N + (E - U_N)j\omega C_{1N} - U_N j\omega C_{2N}$$

Напруга в кінці ізолятора має бути рівною нулю, тобто:

$$U_N - \dot{I}_{N+1} \cdot r_{N+1} = 0$$

Вирішення системи диференціальних рівнянь (1) при такій постановці задачі зводиться до відшукування значення комплексного струму витоку на початку ізолятора \dot{I}_1 при якому напруга в кінці дорівнювала би нулю. При цьому можна скористатися будь-яким алгоритмом пошуку мінімуму функції (в даному випадку мінімізується значення модуля напруги в кінці ізолятора). Враховуючи те, що масиви r , C_1 і C_2 можуть відображати будь-який характер зміни параметрів від поперечної координати x , запропонованим методом можливо отримати відповідний розподіл $\dot{I}=f(x)$, $U=f(x)$ та інформативний для контролю струм в кінці ізолятора.

Таким чином, перехід від схеми заміщення поверхні ізолятора з розподіленими параметрами до схеми заміщення із зосередженими параметрами, розбитої на достатньо велику кількість елементів, дозволяє при вирішенні системи рівнянь (1) знайти розподіл $\dot{I}=f(x)$ і $U=f(x)$ з врахуванням зміни погонних параметрів таких, як опір та ємності до струмопровідної шини та заземленої площини від поперечної координати.

Порівняльні розрахунки за обома моделями показали, що реактивна складова струму витоку, визначена з представленої в статті моделі, є суттєво меншою ніж розрахована за моделлю [4].

Список літератури: 1. С.В. Серебренніков, О.І. Сіріков Вибір інформативних параметрів для контролю забрудненості високовольтних ізоляторів // Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів, вип. 11: Електромагнітний, ультразвуковий та оптичний неруйнівний контроль матеріалів: Зб. наук. праць. – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2006. С. 224-229. 2. С.В. Серебренніков, О.І. Сіріков Підвищення точності діагностики ізоляторів при ортогональному вимірюванні фази струму витоку // Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів, вип. 13: Теорія і практика неруйнівного контролю матеріалів і конструкцій: Зб. наук. праць. – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2008. С. 238-243. 3. Патент України №25587 МПК H02N 7/26 Спосіб контролю ступеня забрудненості поверхні ізоляторів під напругою / Сіріков О.І. – надр. 10.08.2007. Бюл. №12. 4. О.І. Сіріков Діагностика стану забруднення високовольтних ізоляторів під напругою по струму витоку // Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів, вип. 12: Неруйнівний контроль та технічна діагностика матеріалів і конструкцій: Зб. наук. праць. – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2007. С. 273-279. 5. С.В. Серебренніков, О.І. Сіріков Електричний контроль забруднення високовольтних ізоляторів під напругою. Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. – Вип. 19. – Кіровоград: КНТУ, 2007. С. 275-280.

Надійшла до редколегії 30.08.08